



Рис. 1. Превосходство фактических тепловых потерь над нормативными для участка трубопровода $L = 100$ м

Список использованных источников

1. Щербинин К.А., Цукасова А.В. Экспериментальное исследование величины фактических тепловых потерь при затоплении теплопроводов канальной прокладки. Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции с международным участием и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых 15-18 декабря 2015 года. Екатеринбург: УрФУ, 2015.
2. Порядок определения нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии, теплоносителя: Приказ Минэнерго России от 30 декабря 2008 г. № 325, г. Москва.
3. СП 124.13330.2012 (СНиП 41-02-2003) «Тепловые сети»: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2012 г., г. Москва.

УДК 621.6.04

И. Б. Амарская, В. Н. Королев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИНЫ САМОПРОИЗВОЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВВЕРХ ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЫ ПО ТРУБКЕ, ОПУЩЕННОЙ В НЕПОДВИЖНЫЙ ПРОДУВАЕМЫЙ ЗЕРНИСТЫЙ СЛОЙ

Аннотация

Экспериментально исследован необычный эффект, заключающийся в том, что если трубку опустить в неподвижный продуваемый зернистый слой, то внутри трубки частицы слоя начинают интенсивно перемещаться вверх, вследствие чего высота слоя частиц в

трубке значительно превышает высоту неподвижного слоя за ее пределами. Установлено, что причиной самопроизвольного подъема твердых частиц в узкой трубке, погруженной в неподвижный продуваемый зернистый слой, является неравномерное сопротивление зернистого слоя по сечению трубки. У стенок трубки сопротивление меньше, чем в центре слоя. Чем большая доля сечения трубки занята слоем с меньшим сопротивлением, тем этот необычный эффект значительнее.

Обнаруженный эффект может быть использован при решении технической задачи, связанной с организацией перемещения зернистого материала из нижележащей секции многоступенчатого аппарата в вышележащую секцию без дополнительных затрат энергии на транспортировку.

Ключевые слова: необычный эффект; неподвижный зернистый слой; твердые частицы; трубка; дисперсная среда

Abstract

The unusual effect, consisting that if a tube to lower in a motionless blown granular layer inside a tube of a particle of a layer intensively start to move upwards owing to what the height of a layer of particles in a tube considerably exceeds height of a motionless layer behind its limits is experimentally investigated. It is established, that by the reason of spontaneous rise of firm particles in the narrow tube shipped in a motionless blown granular layer, non-uniform resistance of a granular layer on section of a tube is. At walls of a tube resistance is less, than in the centre of a layer. The big share of section of a tube is occupied with a layer with smaller resistance, the this unusual effect is more significant.

The found out effect can be used at the decision of the technical problem connected to the organization of moving of a granular material from underlaying section of the multistage device in overlying section without additional expenses of energy on transportation.

Key words: *The unusual effect; motionless granular layer; firm particles; a tube; the disperse environment*

Экспериментально установлено [1], что если полый цилиндр (трубку) определенного внутреннего диаметра опустить в неподвижный продуваемый зернистый слой, то дисперсная среда (смесь воздуха и частиц слоя) без дополнительной затраты энергии движется вверх по каналу сплошным потоком или поршнями, идущими друг за другом. Высота подъема и характер движения частиц напрямую зависят от отношения внутреннего диаметра трубки к размеру частиц и глубины погружения трубки в неподвижную засыпку.

Исследования проводились на установке квадратного сечения 0,1×0,1 м. Зернистый слой высотой 100 мм состоял из частиц корунда неправильной формы поверхности эквивалентным диаметром 0,63 мм. В опытах использовались трубки внутренним диаметром от 1,4 до 14 мм, которые вертикально крепились в центре аппарата. Отношение диаметра трубки ($d_{\text{тр}}$) к эквивалентному диаметру частиц ($d_{\text{ч}}$) слоя изменялось примерно от 2 до 22.

Визуально было установлено [2], что при $d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}} \leq 2$ движения частиц по трубке не происходит. Начиная с $d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}} = 4$ (рис. 1, а) наблюдался стабильный подъем частиц на высоту в 10 раз превышающую высоту насыпного слоя. При увеличении $d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}}$ до 6 интенсивность подъема частиц (их количество и скорость движения по трубке) возрастала. При дальнейшем увеличении $d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}}$ до 6,5 (рис. 1, б) частицы двигались группами, образуя поршни. Поршневой режим движения дисперсной среды сохранялся и при $d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}}$ более 7–10, но высота, на которую поднимались поршни, с увеличением диаметра трубок уменьшалась. При $d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}} > 20$ никакого эффекта, связанного с движением частиц слоя по трубке, не

наблюдалось. Если длина трубки меньше высоты подъема дисперсной среды, то происходит интенсивное фонтанирование частиц (рис. 1, в, г). Поэтому, соединив верхний торец трубки шлангом, можно не только осуществлять транспорт твердых частиц по трубке, но и направлять гетерогенную струю (поток частиц и воздуха) в любое место.

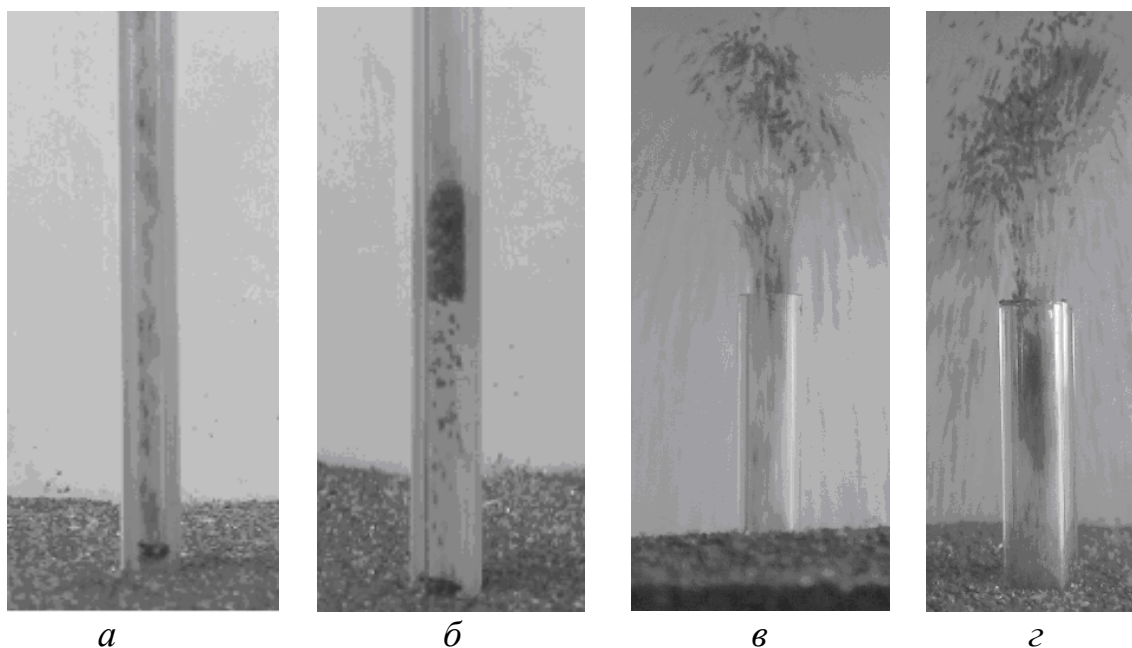


Рис. 1. Картина движения дисперсной среды по трубкам:
 $a - d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}} = 4$; $b - d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}} = 6,5$; $v - d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}} = 6,5$; $г - d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}} = 10,5$

Целью настоящей работы является попытка разобраться в физической сущности данного явления и однозначно определить причину самопроизвольного перемещения вверх дисперсной среды по трубке, опущенной в неподвижный продуваемый зернистый слой.

Описанный выше эффект внешне напоминает классическое явление капиллярности. Однако в данном случае правильнее говорить не о капиллярности, а о квазикапиллярности, так как классическое явление капиллярности связано с явлением поверхностного натяжения, возникающего между молекулами жидкости, находящейся в узкой трубке, и ее стенками. В зернистых средах это явление связано с тем, что структура, и, в частности, порозность неподвижного зернистого слоя, вблизи и на некотором расстоянии от ограничивающей стенки различная [3]. Результаты экспериментального исследования распределения локальной порозности (ε) неподвижного слоя вблизи поверхности получены методом послойного просвечивания зернистого слоя тонким рентгеновским лучом показали, что порозность в слое зерен сферической и произвольной формы поверхности изменяется плавно от единицы на стенке до значения порозности насыпного слоя на расстоянии примерно равным $2d_{\text{ч}}$ (рис. 2).

Минимальное значение порозности в слоях частиц неправильной формы поверхности имеет место на расстоянии $x/d = 0,6$ от стенки, а не при $x/d = 0,5$ как

в случае сферических частиц. Это связано с тем, что, имея микровыступы не одинаковой длины, частицы располагаются относительно поверхности на различных расстояниях (рис. 2, а).

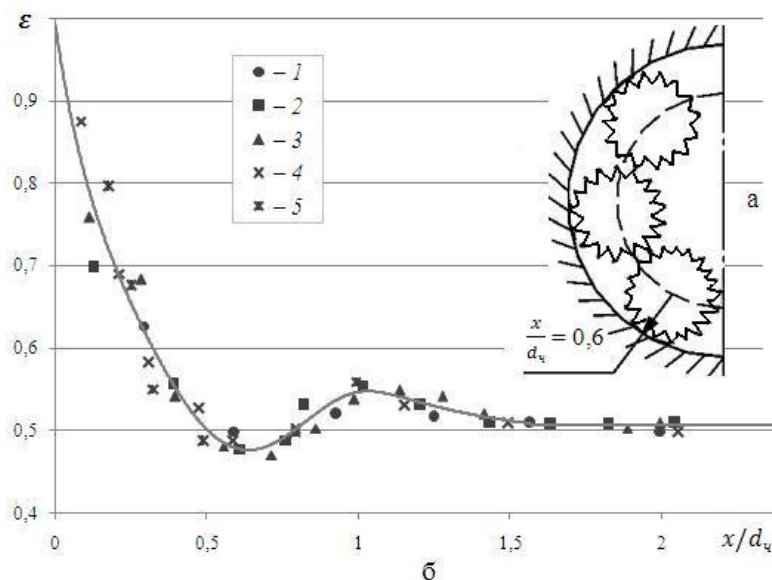


Рис. 2. Схема упаковки частиц неправильной формы поверхности у стенки трубки (а) и распределение порозности по сечению слоя (б):

1 – $d_q = 0,32$ мм; 2 – $d_q = 0,48$ мм; 3 – $d_q = 0,70$ мм;
4 – $d_q = 0,84$ мм; 5 – $d_q = 1,2$ мм

Среднее значение порозности зернистого слоя на расстоянии $x/d = 0,5$ от стенки (рис. 2) определенное методом графического интегрирования [3], в 1,25 раз больше, чем вдали от нее. Учитывая это, получается, что для трубки внутренним диаметром 2,52 мм, в которой находится слой частиц эквивалентным диаметром 0,63 мм ($d_{тр}/d_q = 4$), доля площади сечения с повышенной порозностью (с меньшим гидравлическим сопротивлением и большей скоростью воздуха) составляет 43,7 %, поэтому наблюдается интенсивный подъем частиц. С увеличением отношения $d_{тр}/d_q$ доля площади сечения трубки с повышенной порозностью уменьшается. Так, для трубки внутренним диаметром 3,55 мм ($d_{тр}/d_q = 5,6$) эта доля частиц у стенки трубки составляет 32,3 %, для трубки 4,1 мм ($d_{тр}/d_q = 6,5$) уже 28,4 %, а для трубки 6,3 мм ($d_{тр}/d_q = 10$) всего 19,1 %. Для трубки внутренним диаметром 12,6 мм ($d_{тр}/d_q = 20$) площадь сечения с повышенной порозностью составляет только 9,7 %, поэтому никакого эффекта, связанного с движением частиц слоя внутри трубки, не наблюдается. Необходимо отметить, что интегральное значение порозности на различных расстояниях от стенки практически одинаковое для зернистых слоев сферических, цилиндрических и частиц произвольной формы поверхности [4]. А это значит, что гидравлическое сопротивление в пристенных слоях частиц правильной и неправильной формы поверхности должно быть примерно одинаковое и меньше, чем в ядре слоя, а скорость воздуха больше.

Таким образом, при продувке плотного слоя воздух, фильтруясь в межчастичном пространстве, движется в направлении меньшего сопротивления. Таким местом является внутренняя полость трубки. По мере увеличения перепада

давления на решетке воздух вследствие пониженного (по сравнению со слоем) сопротивления внутренней полости трубки с большой скоростью устремляется внутрь ее, и в результате эжекции происходит интенсивный подсос твердых частиц из пространства, примыкающего к нижнему торцу трубки. Дисперсная среда без дополнительной затраты энергии движется вверх по каналу сплошным потоком или поршнями, идущими друг за другом. Следовательно, квазикапиллярный эффект – явление самопроизвольного подъема твердых частиц в узкой трубке, погруженной в неподвижный продуваемый зернистый слой, возникает вследствие того, что среднее значение порозности зернистого слоя у стенки больше, чем вдали от нее. Это приводит к уменьшению сопротивления этой части слоя и увеличению скорости через нее. Чем большая доля сечения трубки занята слоем с повышенной порозностью, то есть имеет меньшее сопротивление, тем квазикапиллярный эффект значительнее.

Список использованных источников

1. Королев В. Н., Амарская И. Б., Бармина О. А., Островская А. В., Красных В. Ю. Способ удаления мелких частиц из крупнозернистого слоя сыпучих материалов. Патент 2594494 РФ, МПК В07В 4/08. Оpubл. 25.07.2016. Бюл. №23.

4. Королев В.Н., Марков В.А., Нагорнов С.А., Парышев И.С. Квазикапиллярный эффект в неподвижном продуваемом зернистом слое // Инженерно-физический журнал. 2018. Т.91. № 1. С. 256-259.

2. Королев В.Н., Сыромятников Н.И., Толмачев Е.М. Структура неподвижного и псевдооживленного слоя зернистого материала вблизи погруженной в него поверхности (стенки) // Инженерно-физический журнал, 1971. Т. 21. № 5. С. 973-978.

3. Бувеч Ю.А., Королев В.Н., Сыромятников Н.И. Обтекание тел и внешний теплообмен в псевдооживленных средах. – Свердловск: изд-во Урал. ун-та, 1991. – 188 с.

УДК 669.16.228.001.57

Е. Ю. Астанин, Е. В. Киселев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА КАМЕРНОЙ ПЕЧИ СО СТАЦИОНАРНЫМ ПОДОМ, С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Аннотация

Камерные печи в основном предназначены для выполнения термообработки (закалки и высокого отпуска) деталей общего машиностроения. Камерные печи очень важны, так как позволяют проводить качественную термообработку металла и выдерживать определенные тепловые режимы. Качественный камерный нагрев играет большую роль в металлургии,